

475079

動 力 量 測

工具機手冊 第五十二冊

金屬工業發展中心 編譯

測 量 力 動

工具機手冊 第五十二冊

張 以 忠 譯

版 權 所 有
不 准 翻 印

中華民國七十年三月出版

工 具 機 手 冊 之 (五十二)

動 力 量 測

編 譯 者 金 屬 工 業 發 展 中 心

發 行 者 經 濟 部 國 際 貿 易 局

印 刷 富 進 印 書 有 限 公 司

前 言

我國工具機製造，近年來各機種不論在產量和品質上，都有長足的進步，與國外名廠產品，已可媲美，且已大量出口。經濟部國際貿易局鑑於唯有改進產品品質，始可保持已有的市場和進一步拓展外銷，乃于民國六十七年十二月委託本中心編撰工具機手冊約四十冊，內容包括切削加工工具機的製造技術、沖壓模具、塑膠模具、壓鑄技術、鑄造技術、熱處理、表面處理、控制系統等，提供有關本業工廠技術員工參考，希冀由本手冊的刊行，能解答工廠中一部份所遭遇的問題，本手冊前四十冊已於六十九年九月全部刊行，就正我工業界；復承國貿局支持本中心續編第四十一至六十冊二十本，主要在將工具機製造公差，工程量測，金屬片沖壓項目等暨工具機生產技術，例如精密工具機中心與國外技術合作旋臂鑽床之製造範例，一併編印出版以饗讀者。至於編撰印行，因時間倉促，容有不週，至祈不吝指示！

序

國貿局爲提高國內工具機外銷的產品品質，有工具機手冊之刊行。其中有關工程量測方面，這和機械加工之準確度，機械產品之功能有不可分割之關係，故本手冊有關動力之量測，在所有機工廠皆爲日常遭遇之課題，或已在使用有關之檢驗儀器設備，知其然而尙不知其所以然者，藉本冊簡明之敘述，提供參考。

工廠擬購置何種型式儀器設備及何種校驗量規與校驗要點，亦有簡介希能有所裨益。

編者章敬賢謹識

動 力 量 測

第 一 章

時間、速度及頻率之量測

	頁次
1.1 機動及電動時計.....	1
1.2 速度的量測.....	1
1.3 轉速計.....	2
1.4 機動轉速計.....	2
1.5 電動轉速計.....	4
1.6 加速度及振幅的量測.....	9

第 二 章

力、扭矩及動力的量測

2.1 力的量測.....	15
2.2 機械的力之量測.....	16
2.3 液壓及氣壓的力之量測.....	19
2.4 電力的力之量測.....	20
2.5 動力的量測.....	22
2.6 吸收的測功計.....	22
2.7 液壓的吸收測功計.....	25
2.8 電力的吸收測功計.....	28
2.9 吸收的測功計之比較.....	31
2.10 傳動測功計.....	33
2.11 機械的扭力計.....	34
2.12 電力的扭力計.....	35
2.13 光學的扭力計.....	37
2.14 機械加工操作所吸收的動力.....	37
附錄	39

動 力 量 測

第 一 章

時間、速度、加速度及頻率的量測 (Measurement of time, speed, acceleration, and frequency)

1.1 機動及電動時計：(Mechanical and electrical timers)

在工程作業中，時常用到機動及電動時計。最常見的機動時計為鐘及錶。鐘錶之計時，係基於其飛輪每五分之一秒擺動一次的原理。馬錶之類只能用來量測各類事件發生所經過的時間，而無法做到絕對準確的地步。蓋機動時計，通常藉手來觸動，此種計時動作之準確性，除靠時計本身之精度外，尚須包括使用者的反應速度在內。惟設若錶之起動及停止，由同一人司之，其時間遲延近於定值，計時誤差將可減少。如量測的時間超過一分鐘，此種人為之計時誤差，就顯得微不足道。惟設若計時的層次進入若干秒的程度，則此種誤差便成為一重要的因素。

若量測的時間間隔比二十秒為少，則勢須配備時計的起動及停止裝置，使不依賴人類肌肉的反應。錶之起動及停止可以機械觸動方式行之，其計時機構運轉穩定之高度靈敏時計，可用快動作的離合器司其起動及停止。若誤差須少於0.05秒者，則須使用電動時計。

電動時計係依其標示使用供應交流電之振盪頻率。若電鐘係根據50赫(HZ)的主頻率來指示時間，則用固定頻率。若操作者為配合工作精度之需要，亦可採用變動頻率。所供時計之頻率愈高，則其振盪愈有規律，計時愈精確。此種時計係由電脈司其起動及停止。在起動及停止間所發生之週期數可被記錄下來，通常顯示於數字錶上。

1.2 速度的量測：(The measurement of speed)

速度的量測可分為角速度量測與線速度量測兩種。

轉動機械之角速度常以每秒弧度（弧度／秒）或每分鐘轉數（轉／分）表示之。

線速度為每單位時間內所移動之距離，以每秒米（米／秒）表示之。

1.3 轉速計：(Tachometers)

轉速計為一種用來直接量測一轉動軸的角速度之儀器。轉速計約可分為機動轉速計與電動轉速計兩類，分述如下。

1.4 機動轉速計：(Mechanical tachometers)

(1)轉數計及時計：(Revolution counter and timer)

此類中最簡便的方法為利用一轉數計及一馬錶。此法用於低速量測上，可獲致良好的效果。此種儀器商品為一種具有時計裝置的轉數計（圖1）。

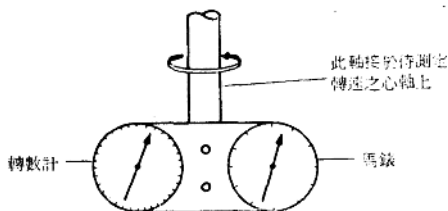


圖1. 具有計時裝置的轉數計。

(2)滑動離合器式：(The slipping clutch type)

此種轉速計具一指示軸，並由一輸入軸透過介於兩軸間之滑動離

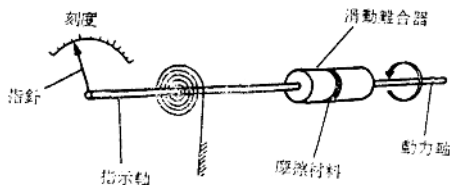


圖2. 滑動離合器式轉速計。

合器來帶動。在指示軸上裝有指針，對一渦旋彈簧之扭力反向迴轉。當動力軸的轉速增加時，施於指示軸上的扭矩亦俱增，指針遂沿刻度而移動。

(3)離心力式：(The centrifugal force type)

離心力式(圖3)係依據瓦特調速器(Watt governor)的原理而操作。兩片簧上各裝一質量(Mass)，片簧的一端裝於傳動軸的末端上，另一端則裝於可在傳動軸上滑動而又能帶動指針的滑動軸環上。

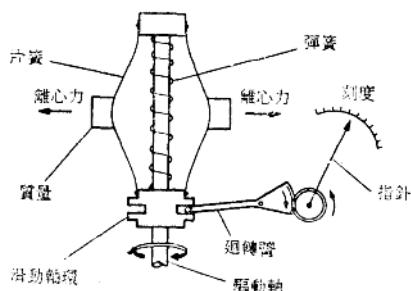


圖3. 離心力轉速計。

當轉速增加，兩質量上的離心力亦增加(即離心力 $m r \omega^2$ ，式中 m = 質量， r = 轉動中心半徑， ω = 角速度)，因而導致質量外移，連帶軸環也隨之上升。軸環上升之動作，經由扇形齒輪及小齒輪之傳遞而使指針迴轉。此種儀器可量測到40,000弧度/分之轉速，其最高準確度為 $\pm 1\%$ 。

(4)共振或振動片轉速計：(The resonance or vibrating-reed tachometer)

振動片轉速計為一組懸臂式薄片狀構件，每一薄片具有本質不同的振動頻率(圖4 a)。各簧片係依其本質的振動頻率順序排列成行。當轉速計之底座以機械方式與轉動中之機器相接觸時，簧片中有振動頻率與機器之振動頻率最接近者反應最快(發生共鳴作用)。簧片之振動頻率由其相對的刻度上指示出來。

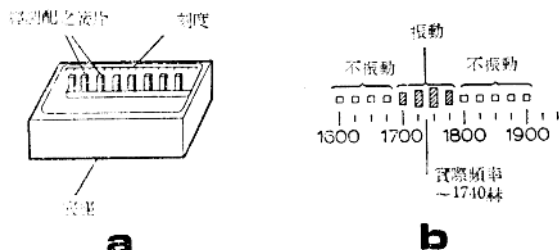


圖4. 振動片轉速計。

此種儀器的優點，在使用上只須將其與待測定機器之不運動部份的機件接觸即可。其使用範圍在 600~10,000轉/分間，而準確度可高過 $\pm \frac{1}{2}\%$ 。

1.5 電動轉速計：(Electrical tachometers)

通常使用的電動轉速計：一般可分為下列各種：

- ①感應轉速計：(Inductive tachometers)
- ②發電機轉速計：(Tachogenerators)
- ③交變電容器式轉速計：(Commutated capacitor-type tachometers)
- ④數字信號拾波器轉速計：(Digital signal pick-up tachometers)
- ⑤閃光轉速計：(Stroboscopic tachometers)

(1)感應轉速計：

渦流或磁力式 (The eddy current or magnetic drag type) 此種儀器如圖 5 所示，一機軸帶動迴轉的永久磁石，由於感應在鋁質杯中產生之渦流使杯迴轉與一渦旋彈簧之扭矩相抗。與杯同一心軸上所裝之指針，在刻度上指出需求之轉速。

此種儀器一般均用在自動車上，而以線速度作為刻度之分割（每小時哩或每小時公里）。當用於飛機上來量測航速時，可用電力傳動來取代可撓性之機械傳動；即在機軸上裝以一種三相交流發電機與一

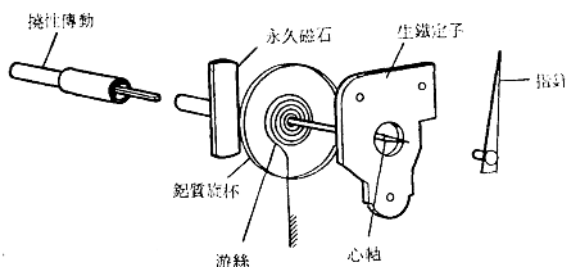


圖5. 渦流或磁力轉速計圖。

三相同步電動機連接，最後再帶動轉速計之磁石。

渦流轉速計所量測之轉速一般可達到12,000轉／分，其準確度以低於 $\pm 3\%$ 者為上。

交流發電機旋杯式 (The A. C. drag cup generator type) 此儀器有一鋁杯在疊層之磁鐵片 (定子) 內迴轉。定子心上繞有兩組中心成正交之線捲如圖 6 所示。

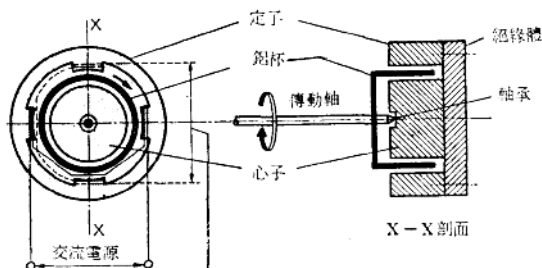


圖6. 交流發電機旋杯式轉速計。

當線捲中之一組通入交流電時，鋁杯內部即因感應而產生渦流。當鋁杯迴轉時，在輸出線圈處即發出由於橫切磁力線所感應出來而與轉速成比例之電動力。此輸出之電壓可以刻有每分鐘轉數之伏特計量測之。此種轉速計常用於需要在一定頻率下具線型輸出電壓 (Linear output voltage) 的控制系統中。此種儀器所量測之轉速可達到5,000

轉／分；其準確度在 $\pm \frac{1}{2}\%$ 公差內。

②發電機轉速計：

發電機轉速計亦廣泛地使用於控制系統中。許多控制系統中，需要一種與迴轉速成比例之電壓信號以與系統的輸出電壓相比較。祇要將發電機轉速計連接於系統中的輸出軸上，即可輕易地達到此目的。直流發電機轉速計：此儀器為一永久磁場之小直流發電機。儀器可裝接於迴轉軸上，從發電機轉速計所輸出之電壓係與轉速成比例。輸出電壓由標有 $r/min.$ 刻度之可動線圈的儀器（Moving coil instrument）測定之。

直流發電機轉速計所測定之速度可達到 5,000 轉／分，其準確度在 $\pm 2\%$ 內，其更精製型則可達到 $\pm 0.1\%$ 。

交流發電機轉速計：交流發電機轉速計為一小型無刷之交流發電機，其迴轉多極式永久磁鐵交流發電機係由轉動軸所帶動，其輸出電壓由標有 $r/min.$ 刻度之伏特計測定之。

在交流轉速計中，其輸出電壓係與轉速成比例，惟其頻率亦隨轉速而變化，因此影響儀器之準確度。此種儀器所測之轉速可達到 5,000 轉／分，其準確度在 $\pm 2\%$ 內。

③交變電容器式轉速計：

此種轉速計具一迴轉刷，對電容器作交替之充電及放電（圖 7）。電容器 C_1 由一具定電壓之直流電源予以充電後又由迴轉之開關經電阻器 R_2 予以放電。跨過 R_2 電位所放出之電流係與迴轉軸的轉速成

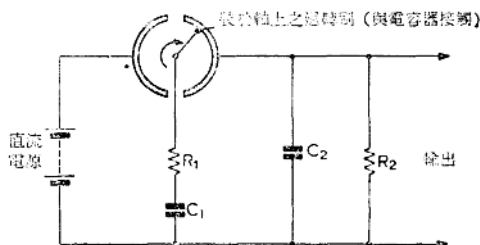


圖7. 交替電容器式轉速計。

比例。值 $C_2 = 100 C_1$ ， R_1 應具低電阻，惟其大小須能控制充入之電流，以防止開關接觸處之燒毀。此種儀器可用於 200~10,000 轉/分範圍。

(4) 數字信號拾波器轉速計：

以上所列舉的電動轉速計具有相似的轉速顯示方式。此處所討論之量測儀器則以脈動或數字作為輸出信號。數字輸出可以轉速直接表示，並傳送所量測的結果供計算或供控制系統之用。此儀器最顯著的優點在於變換器與軸間無實質的關聯，且軸僅承受少量之負荷或竟無負荷。可資利用之數字拾波器型式甚多，茲將最常見的三種陳述如下：

a. 感應拾波器：(Inductive pick-ups) 典型的感應拾波器系統如圖 8 所示。齒輪上之每一齒轉過時，磁力線路中之磁阻即發

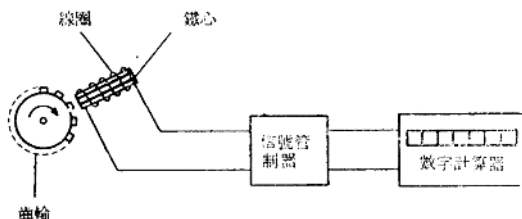


圖8. 感應拾波器轉速計。

生變化，因而產生一脈動式之電動勢變化。此脈動被送至一位數計算器內，以算出在預先調定之時間間隔內的脈動數。信號管制器之功用在於加強信號，使所發出一連串的脈動而有力的可資運用之振幅。

b. 電容式拾波器：(Capacitive-type pick-ups) 電容拾

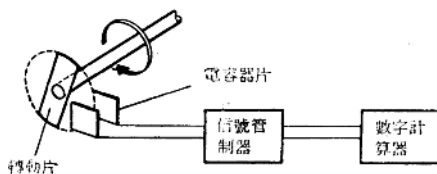


圖9. 電容拾波器轉速計。

波器中具有一葉片裝置於轉動軸上。當葉片在固定電容器片之間迴轉時，即產生對連接大地的電容比之變化。其輸出送進脈動管制器及數字計算器如圖 9 所示。

c. 光電拾波器 (Photoelectric pick-ups) 此種儀器具有

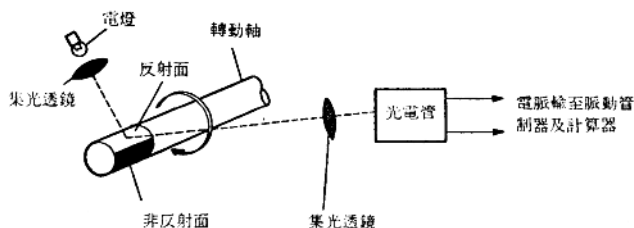


圖10 光電拾波器轉速計。

一光電管承受由轉動軸所折射來之光脈而作用。轉動軸上一間歇之反射面，可將照射其上之光束轉變一連串的光脈。光脈的頻率係與軸之轉速成比例，因之自光電管中發出之電脈動輸出頻率亦與轉動軸成比例。繼之此脈動再經加強以適於數字計算器輸入之用。

數字量測系統所量測之轉速可達到 300,000 轉/分，其準確度只受計算器裝置準確度之限制。

(5) 閃光轉速計：

對一種週而復始的循環動作；若僅從其中選一特定點來觀測，則所見者為固定不動之景象。此即為此種儀器立論所依據之原理。

如在一軸上作一標誌，而令此軸在穩定的光線下，作緩慢之轉動，則在一定的時間間隔內，可由標誌的出現而計算出軸之迴轉數從而

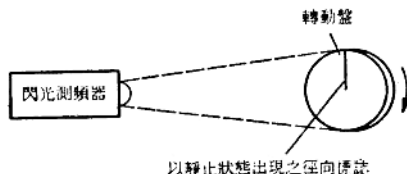


圖11 閃光轉速計。

求得其角速度。惟若轉速增加，則統計標誌出現之次數將為困難之事。

若將閃光來代替穩定之光線，並調節此閃光之頻率及持續時間，使成為每轉一次之短促閃照，則觀測者在軸上所見者，將為一清晰不動的標誌。如圖11中所示，轉動盤上之單一標誌即為每轉一次所照出者。

可資利用之商品中，閃光測頻器（Stroboscopes）通常裝有氖管，其閃光頻率可自刻有 600至20,000轉／分角速度之控制開關上讀出。閃光測頻器因其無需與轉動軸相接觸即可測出轉速，對於測定小動力機器之轉速而言，由於無須由機器本身負擔額外的動力作為儀器之驅動，故為特別合適。

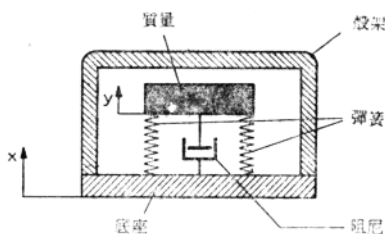
若閃光的頻率合於轉動軸轉速的倍數，此轉動亦可呈現看來似同靜止之狀態。如果轉動軸所刻者為單一之標誌，而以1000轉／分的轉速而轉動；而閃光率為 500轉／分，則閃光每照一次軸轉二次。同理，若軸在每一閃光之間作任何數目之完整迴轉時，仍能以看起來似為靜止之狀態呈現。因此，閃光每分鐘閃照1000次、500次、333 $\frac{1}{3}$ 次及250次等等，均可使軸呈現靜止之狀態。故轉動軸之轉速在何者範圍之間，又為一企求解答之問題。

若閃光的頻率兩倍於軸的轉速，則軸的單一標誌如圖11所示者，將呈現出兩個分開180°之標誌。若不知轉速大概的範圍，可按下述之方法行之：將閃光頻率從低值逐漸增高，以迄於轉動件呈現靜止狀態為止，記下此時之頻率。繼之，將頻率加倍，如所呈現者仍為單一之形象，再將頻率加倍。此步驟一直繼續下去，以迄於出現兩個分開180°之形象為止。在此兩形象之最先呈現者，此閃光頻率即為轉速的兩倍。

1.6 加速度及振幅的量測：(Measurement of acceration and vibration amplitude)

(1)感震儀的原理：(Principles of the seismic instrument)

感震儀的基本作用形式如圖12所示。底座與待測特性之震源相連接。在平衡位置時之質量，居於靜止狀態。因此當震動發生時，由於質量與底座間的相對位移，其震動情況即被記錄下來。然後此位移再



質量與底座間之和對運動量 $z = y - x$ 。

圖12 基本質量感震量測儀

送到一專用之轉變器加以量測。

此種感震儀內之質量、彈簧及阻尼器聯合裝置，如能加以適當的調配，則可用於位移或加速度的量測。就一般而論，大質量及軟彈簧適於位移之量測，而較小之質量及硬彈簧則用於加速度之量測。

如一諧和輸入 (Harmonic input) 施於底座者，其運動量可以下式表示之：

$$x = X \sin \omega t$$

式中 x 為在時間 t 內，從運動中心算起之位移。

X 為最大位移或振幅。

ω 為諧和輸入的頻率。

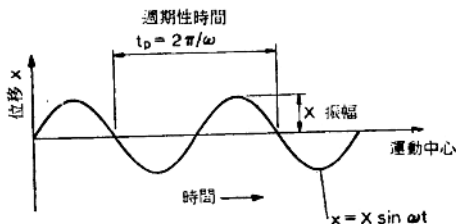


圖13 施於感震儀底座之諧和輸入。

圖13所示為一種典型之諧和輸入。

此即為一簡諧運動，其振幅為 X ，頻率為 $\omega/2\pi$ 而底座之加速度為 $\omega^2 x$ ，因此其最大加速度即為 $\omega^2 X$ 。

質量及底座的相對運動量可以下式表出，

$$Z = \frac{w^2 X}{w_n^2 \{ [1 - (w/w_n)^2]^2 + [2\zeta w/w_n]^2 \}^{\frac{1}{2}}} \dots\dots\dots (i)$$

式中 w_n 為彈簧——質量系統內的本質的頻率為徑/秒， ζ 為阻尼比即實際產生之阻尼與所需臨界阻尼（不過量）比。

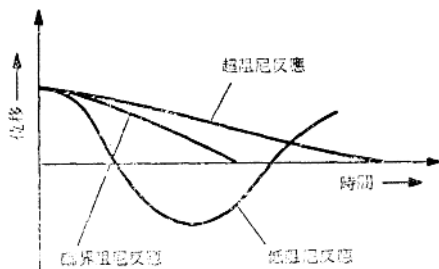


圖14 典型諧和阻尼反應曲線。

(2) 位移的量測：(The measurement of displacement)

若施於感震量測儀底座之頻率 w 高過 w_n 甚多，則方程式 (i) 中 $[2\zeta w/w_n]^2$ 一項與 $[(w/w_n)^2]^2$ 相較之下，可略而不計，於是 Z 之近似值可以下式表示之，

$$Z = \frac{w^2 X}{w_n^2 \{ [(w/w_n)^2]^2 \}^{\frac{1}{2}}} = \frac{w^2 X}{w_n^2 (w/w_n)^2} = X$$

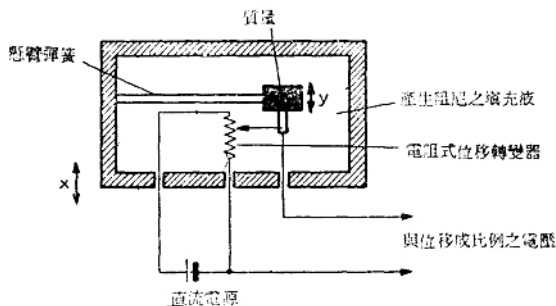


圖15 具懸臂彈簧之典型的質量感震儀。